

HIBAH BERSAING



LAPORAN KEGIATAN

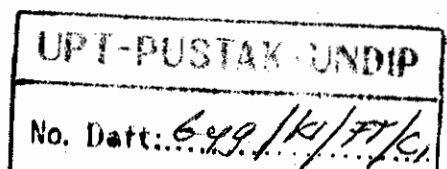
**Rekayasa Kontaktor Hollow Fiber Longitudinal
sebagai "Closed Recirculation Modular Cooling Tower"
untuk Optimalisasi Penggunaan Air dan Energi di Industri**

Oleh:

**I Nyoman Widiasta, ST, MT
Dr. Ir. Berkah Fajar Tamtomo Kiono
Suherman, ST, MT**

Dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Pekerjaan Penelitian Nomor 031/SPPP/PP/DP3M/IV/2005 tanggal 11 April 2005.

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
NOVEMBER, 2005**



LEMBAR IDENTITAS DAN HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN HIBAH BERSAING

A. Judul : Rekayasa Kontaktor Hollow Fiber Longitudinal sebagai "Closed Recirculation Modular Cooling Tower" untuk Optimalisasi Penggunaan Air dan Energi di Industri

B. Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap dan Gelar : Dr. I Nyoman Widiasta, ST, MT
 b. Jenis Kelamin : Laki-Laki
 c. Pangkat/Golongan/ NIP : Penata Muda /III-A / 132 132 751
 d. Bidang Keahlian : Teknologi Membran
 e. Fakultas/Jurusan/ : Teknik / Teknik Kimia
 f. Perguruan Tinggi : Universitas Diponegoro Semarang

C. Tim Peneliti

NAMA	BIDANG KEAHLIAN	FAKULTAS/JUR.	PERGURUAN TINGGI
1. Dr. Ir. Berkah Fajar Tamtomo Kiono	Sistem Pendingin	Teknik/Teknik Mesin	Univ. Diponegoro
2. Suherman, ST., MT	Komputasi Proses Kimia	Teknik/Teknik Kimia	Univ. Diponegoro
3. Darto	Instrumentasi	Teknik/Teknik Kimia	Univ. Diponegoro
4. Sungkowo	Teknisi	Teknik/Teknik Kimia	Univ. Diponegoro

D. Pendanaan dan jangka waktu penelitian

Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 tahun
 Biaya total yang diusulkan : Rp. 73.795.000
 Biaya yang disetujui tahun 2005 : Rp. 34.000.000

Semarang, 11 November 2005

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik

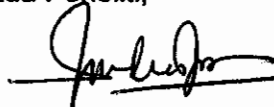


(Ir. Hj. Sri Eko Wahyuni, MS)

NIP. 130 898 929

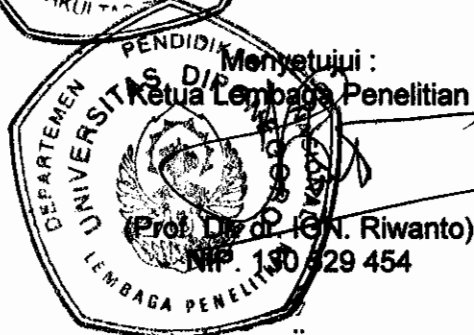


Ketua Peneliti,



(Dr. I Nyoman Widiasta, ST, MT)

NIP. 132 132 751



Mengetahui :

Ketua Lembaga Penelitian



(Prof. Dr. P. I. N. Riwanto)

NIP. 130 829 454

SISTEMATIKA LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN HIBAH BERSAING

	Halaman
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN DAN SUMMARY	iv
PRAKATA	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR/ILUSTRASI	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
II. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	4
III. TINJAUAN PUSTAKA	5
IV. METODE PENELITIAN	11
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	18
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	39
VII. RENCANA/PENELITIAN TAHAP SELANJUTNYA	40
A. Tujuan Khusus	40
B. Metode	40
C. Jadwal Kerja	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	48

RINGKASAN DAN SUMMARY

Sampai saat ini, air masih dipandang sebagai media pendingin (umumnya disebut *cooling water*) yang paling murah untuk mendukung proses suatu industri. Dapat dipastikan bahwa kegiatan industri akan terhenti jika ketersediaan air pendingin ini mengalami gangguan. Di industri, *cooling water* akan mengambil panas dari beberapa unit-unit operasi sehingga mengalami kenaikan temperatur. Supaya dapat berfungsi sebagai media pendingin kembali, panas tersebut biasa dibuang ke udara menggunakan suatu unit operasi yang disebut *cooling tower*. Keterbatasan metode ini adalah memerlukan ruang yang luas, terjadinya kehilangan sejumlah air ke udara sebagai uap, tidak ada *recovery* panas, dan sering terkontaminasi oleh partikel dan mikroorganisme dari udara.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan tipe *cooling tower* baru yang diharapkan dapat mengatasi keterbatasan *cooling tower* konvensional. Kebaruan yang merupakan kontribusi dari penelitian ini antara lain: (a) unit *cooling tower* yang berbasis pada pemanfaatan struktur pori asimetrik hollow fiber; hal ini memungkinkan *cooling tower* dibuat sebagai unit yang modular dan kompak, (b) adanya *recovery* panas yang dibuang dari *cooling water*; hal ini akan meningkatkan efisiensi penggunaan energi, dan (c) produksi air murni baik untuk kebutuhan proses atau air umpan boiler; hal ini tidak hanya mengoptimalkan penggunaan air, tetapi juga akan mereduksi kebutuhan bahan kimia untuk penyediaan air tersebut.

Untuk dapat memahami perilaku dan kinerja proses secara komprehensif, studi fundamental teoritik dan eksperimental dilakukan dengan fokus: (a) formulasi model matematik perpindahan massa dan panas dalam kontakor hollow fiber, (b) pengaruh parameter intrinsik membran terhadap kelakuan disipasi panas dan fluks uap, (c) pengaruh kondisi operasi terhadap kelakuan disipasi panas dan fluks uap, dan (d) tekno-ekonomi proses. Pada tahun pertama, penelitian diarahkan pada kajian tentang karakterisasi membran, stabilitas membran, penyusunan model perpindahan massa dan panas, studi eksperimental pengaruh temperatur, kecepatan alir dan konsentrasi umpan terhadap laju transfer uap dan disipasi panas.

Berdasarkan hasil-hasil yang telah dicapai selama tahun 2005, kesimpulan yang diperoleh antara lain (a) pengutipan uap dan panas dapat dilakukan secara simultan; (b) pada rentang konsentrasi solut 0 – 5000 mg/L, keberadaan solut tidak memberikan pengaruh signifikan baik terhadap fluks uap maupun terhadap disipasi panas; (c) hampir semua uap dapat dikutip sebagai air ultramurni yang memiliki konduktivitas dibawah 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$; (d) fluks uap dan disipasi panas meningkat dengan kenaikan temperatur inlet maupun kenaikan kecepatan alir; (e) transfer panas oleh permeasi uap dan konduksi memegang peranan penting dalam disipasi panas; (f) pada kondisi pengujian, didapatkan bahwa panas konduksi lebih besar daripada panas yang dibawa oleh uap; (g) temperatur outlet dibawah 45°C masih dapat dicapai jika temperatur inlet 80°C.

PRAKATA

Sistem cooling water untuk menunjang proses dalam industri saat ini kebanyakan menggunakan cooling tower terbuka untuk membuang panas dari cooling water. Selain membutuhkan lahan yang luas, kelemahan dari cara ini adalah terjadinya kehilangan sejumlah air ke udara sebagai uap, tidak ada *recovery* panas, dan sering terkontaminasi oleh partikel dan mikroorganisme dari udara. Dalam penelitian ini, dikembangkan sistem cooling water baru yang berbasis pada pemanfaatan struktur pori asimetrik hollow fiber sebagai unit untuk disipasi panas dari cooling water. Secara konseptual, sistem cooling water ini memungkinkan adanya *recovery* panas yang dibuang dari cooling water; hal ini akan meningkatkan efisiensi penggunaan energi, dan produksi air murni baik untuk kebutuhan proses atau air umpan boiler; hal ini tidak hanya mengoptimalkan penggunaan air, tetapi juga akan mereduksi kebutuhan bahan kimia untuk penyediaan air tersebut.

Disadari bahwa hasil yang diperoleh belum cukup untuk dijadikan acuan aplikasi skala komersial. Namun hasil yang dicapai pada tahun pertama ini banyak memberikan manfaat untuk penelitian lebih lanjut pada tahun kedua.

Akhir kata, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada:

- Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional
- Lembaga Penelitian UNDIP
- Jurusan Teknik Kimia UNDIP

Atas segala bantuan dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

Semarang, 11 Desember 2005

Tim Peneliti

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Terminologi dan simbol yang terkait dengan neraca air pada sistem cooling water terbuka	6
Tabel 3.2.	Hasil-hasil penelitian terdahulu tentang aplikasi kontaktor membran	10
Tabel 5.1.	Karakteristik membran	18

DAFTAR GAMBAR/ILUSTRASI

	halaman
Gambar 3.1. Aliran air pada sistem cooling water terbuka	5
Gambar 3.2. Ilustrasi skematik profil temperatur dalam kontaktor membran hollow fiber	8
Gambar 3.3. Skema perpindahan molekul uap air melalui pori-pori membran	9
Gambar 4.1. Tahapan penelitian dan keterkaitan antara masing-masing tahap	11
Gambar 4.2. Ilustrasi skematik desain modul membran hollow fiber	12
Gambar 4.3. Tahapan perpindahan panas melalui kontaktor hollow fiber	14
Gambar 4.4. Skematik kontaktor membran hollow fiber dan mode operasinya	17
Gambar 5.1. Karakteristik stabilitas membran terhadap temperatur yang diukur berdasarkan fluks isobutanol pada tekanan 0,1 – 0,9 bar untuk membran A	19
Gambar 5.2. Karakteristik stabilitas membran terhadap temperatur yang diukur berdasarkan fluks isobutanol pada tekanan 0,1 – 0,9 bar untuk membran B	19
Gambar 5.3. Foto modul hollow fiber longitudinal	20
Gambar 5.4. Tahapan perpindahan panas melalui kontaktor hollow fiber	21
Gambar 5.5. Tekanan uap sebagai fungsi temperatur dan konsentrasi solut	22
Gambar 5.6. Profil ΔP pada $T_h = 45 - 90^\circ\text{C}$ dan $T_c = 25 - 40^\circ\text{C}$	23
Gambar 5.7. Profil konduktivitas termal membran polipropilen	24
Gambar 5.8. Transfer panas secara konduksi dari aliran dingin ke aliran panas pada berbagai gradien temperatur	25
Gambar 5.9. Rasio transfer panas secara konveksi terhadap konduksi	25
Gambar 5.10. Skematik sistem cooling tower yang diusulkan	30
Gambar 5.11. Foto kontaktor hollow fiber longitudinal	31
Gambar 5.12. Pompa diafragma	31
Gambar 5.13. Pengkondisian temperatur umpan	32
Gambar 5.14. Regulator laju alir	32
Gambar 5.15. Hubungan konduktivitas terhadap konsentrasi larutan	33
Gambar 5.16. Fluks uap sebagai fungsi temperatur umpan untuk tiga konsentrasi umpan. Temperatur aliran dingin = 25°C ; kecepatan alir = 0.05 m/s	34
Gambar 5.17. Karakteristik konduktivitas permeat sebagai fungsi konsentrasi umpan. Temperatur aliran dingin = 25°C ; kecepatan alir = 0.05 m/s	34

Gambar 5.18. Fluks uap sebagai fungsi kecepatan aliran untuk tiga konsentrasi umpan. Temperatur aliran dingin = 25°C; Temperatur umpan = 80°C	35
Gambar 5.19. Disipasi panas sebagai fungsi temperatur umpan untuk tiga konsentrasi umpan. Temperatur aliran dingin = 25°C; kecepatan alir = 0.05 m/s	36
Gambar 5.20. Disipasi panas sebagai fungsi temperatur umpan untuk tiga konsentrasi umpan. Temperatur aliran dingin = 25°C; kecepatan alir = 0.05 m/s	36
Gambar 5.21. Kontribusi relatif masing-masing mekanisme transfer panas terhadap disipasi panas (konsentrasi 1500 mg/L; temperatur aliran dingin = 25°C; kecepatan alir = 0.05 m/s	37
Gambar 5.22. Kontribusi relatif masing-masing mekanisme transfer panas terhadap disipasi panas (konsentrasi 1500 mg/L; temperatur aliran dingin = 25°C; temperatur umpan = 80°C	37
Gambar 5.23. Temperatur outlet vs temperatur inlet untuk umpan larutan NaCl 1500 mg/L. Temperatur aliran dingin = 25°C; kecepatan alir = 0.05 m/s	38
Gambar 5.23. Temperatur outlet vs temperatur inlet untuk umpan larutan NaCl 1500 mg/L. Temperatur aliran dingin = 25°C; temperatur umpan = 80°C	38
Gambar 7.1. Skematik prototipe "closed-recircualtion modular cooling tower" (DW = deionized water, M = manometer, T = thermometer, TR = thermoregulator, WB = water bath)	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Rencana Anggaran Penelitian Tahun 2006	48
Lampiran B. Data-Data Eksperimental	52
Lampiran C. Publikasi	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan yang sangat esensial bagi suatu industri baik untuk air poses, air pendingin, umpan boiler, maupun air bersih. Sebagai media pendingin (*cooling water*), air masih yang paling murah sampai saat ini. Air yang digunakan sebagai *cooling water* harus memiliki kandungan padatan terlarut rendah, bebas mikroorganisme terutama jamur dan lumut, dan tidak korosif untuk menghindari terjadinya kerusakan pada alat-alat proses karena timbulnya kerak, korosi, dan biofouling. Dalam operasinya, *cooling water* mengambil panas dari beberapa unit proses sehingga temperaturnya meningkat. Supaya dapat berfungsi sebagai media pendingin kembali, panas tersebut harus dibuang.

Siklus pengambilan dan pelepasan panas oleh *cooling water* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sirkulasi tertutup dan sirkulasi terbuka [1]. Pada sirkulasi tertutup, panas yang dibawa oleh *cooling water* dilepaskan ke suatu media pendinginan eksternal melalui kontak tidak langsung. Dengan sirkulasi tertutup, *cooling water* tidak akan terkontaminasi. Namun, proses penurunan temperatur *cooling water* dalam sistem sirkulasi tertutup sangat lambat karena panas yang dipindahkan hanya panas sensibel. Jika menggunakan refrigeran hidrokarbon, proses menjadi mahal. Oleh karena itu, sistem sirkulasi tertutup yang menggunakan refrigeran jarang sekali diterapkan di industri.

Pada sistem sirkulasi terbuka, panas yang terkandung dalam *cooling water* dilepaskan ke udara melalui kontak langsung. Proses ini dilakukan dalam sebuah unit operasi yang disebut *cooling tower*. Keterbatasan metode ini adalah memerlukan ruang yang luas, terjadinya kehilangan sejumlah air ke udara sebagai uap, tidak ada *recovery* panas, dan sering terkontaminasi oleh partikel dan mikroorganisme dari udara.

Terus munculnya paten tentang *cooling tower* [2-15] menunjukkan bahwa bidang ini memberikan peluang yang sangat menjanjikan. Dapat ditegaskan bahwa hampir semua paten ini masih bertumpu pada *cooling tower* sistem terbuka. Inovasi yang diusulkan lebih ditekankan pada aspek modifikasi desain aliran [2-7,13,14], pengendalian *fouling* [8,15], dan *recovery* uap dengan memasang unit tambahan [9,11,12]. Hanya Cheng dan Devack yang mengusulkan sistem tertutup dengan menggunakan *cryogenic* [10].

Seiring dengan perkembangan dan pencapaian teknologi membran dewasa ini, aplikasinya tidak lagi hanya untuk proses filtrasi, melainkan telah meluas dalam bidang-bidang lain seperti medis [16], sensor [17], bioreaktor [18], dan kontaktor [19]. Hal ini karena membran dapat dibuat dalam spektrum ukuran pori yang sangat luas dari berbagai material

(polimer, logam, atau anorganik), proses dapat diakomodasi oleh berbagai gaya dorong (beda tekanan hidrostatik, beda konsentrasi, beda tekanan parsial, dan beda potensial listrik), dan harganya cenderung semakin murah.

Kontaktor membran hollow fiber merupakan salah satu proses membran yang dicirikan oleh penggunaan membran hollow fiber mikroporous hidropobik sebagai media kontak dan barrier antara dua fasa yang terlibat dalam proses. Beberapa peneliti menggunakan istilah *membrane distillation* untuk kontaktor membran ini. Dari kajian literatur yang telah dilakukan, tidak satu pun publikasi dan paten [19-50] yang mengkaji potensi kontaktor hollow fiber untuk optimalisasi penggunaan air dan energi di industri meskipun konsep kontaktor membran telah dikembangkan sejak tahun 1963.

1.2. Subyek Penelitian

Dalam penelitian ini, potensi kontaktor membran hollow fiber sebagai "closed recirculation modular cooling tower" dieksplotasi secara eksperimental dan teoritik. Kebaruan yang menjadi kontribusi dari penelitian ini antara lain: (a) unit *cooling tower* yang berbasis pada pemanfaatan struktur pori asimetrik hollow fiber; hal ini memungkinkan *cooling tower* dibuat sebagai unit yang modular dan kompak, (b) *recovery* panas yang diambil pada saat pendinginan proses; hal ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi, dan (c) produksi air murni baik untuk kebutuhan proses atau air umpan boiler; hal ini tidak hanya mengoptimalkan penggunaan air, tetapi juga mereduksi kebutuhan bahan kimia untuk penyediaan air tersebut.

Untuk dapat memahami perilaku dan kinerja proses secara komprehensif, studi fundamental teoritik dan eksperimental akan difokuskan pada: (a) parameter intrinsik transfer massa dan panas melalui membran (struktur, geometri, dan ukuran pori membran), (b) hidrodinamika aliran (laju alir linear, pola aliran, dan tekanan hidrostatik), dan (c) sifat psikokimia fluida (konsentrasi dan temperatur).

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari disipasi panas dan *recovery* uap secara simultan menggunakan kontaktor hollow fiber. Secara spesifik, tujuan penelitian ini adalah :

- Studi eksperimental pengaruh parameter operasi terhadap perilaku dan kinerja sistem,
- Pengembangan formulasi matematik perpindahan massa dan panas,
- Pabrikasi dan uji jangka panjang prototipe "closed recirculation modular cooling tower" dengan kapasitas 20 - 50 liter per hari,
- Membuat rancangan proses dan analisis sensitivitas biaya investasi dan biaya produksi.

1.4. Hasil Yang Ditargetkan

Dari seluruh tahap kegiatan yang akan dilakukan, penelitian ini akan memberikan beberapa luaran, antara lain:

- a. Sebuah prototipe "closed recirculation modular cooling tower".
- b. Formulasi matematik untuk kinerja dan perilaku proses.
- c. Data-data teknis kuantitatif untuk perancangan dan pengoperasian proses.
- d. Satu rancangan proses dan analisis sensitivitas ekonomi sebagai fungsi kapasitas.
- e. Satu draft dokumen paten.

BAB II

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN TAHUN PERTAMA

2.1 Tujuan Penelitian

Penelitian pada tahun pertama difokuskan pada beberapa aspek berikut :

- Karakterisasi membran hollow fiber
- Studi stabilitas membran
- Desain modul hollow fiber
- Pengembangan model transfer uap
- Studi pengaruh parameter operasi terhadap laju transfer uap dan panas

2.2 Manfaat Penelitian

Penelitian tahun pertama ini memberikan hasil-hasil sebagai berikut:

- (a). Data-data karakteristik dan stabilitas membran Accurel® PP Q3/2 dimana pada rentang temperatur operasi praktis, membran ini menunjukkan stabilitas dan kinerja yang sesuai untuk aplikasi kontaktor hollow fiber.
- (b). Modul kontaktor hollow fiber skala laboratorium.
- (c). Model matematika transfer uap dan disipasi panas secara simultan dalam kontaktor hollow fiber.
- (d). Unit kontaktor hollow fiber skala laboratorium.
- (e). Data-data fundamental pengaruh karakteristik hollow fiber dan kondisi operasi terhadap fluks uap, disipasi panas, kualitas permeat dan temperatur cooling water keluar dari kontaktor hollow fiber.
- (f). Kontribusi relatif masing-masing mekanisme transfer panas terhadap total disipasi panas dalam kontaktor hollow fiber.